

# モーリレー動作条件を考慮した 電圧安定性 ATC 計算の提案

餘利野 直人, 造賀 芳文, 末成 展康\*, 川本 晃亘, 李 生虎(広島大学)

## 1. はじめに

電力の自由化に伴い、電力市場への新規参入が可能になった現在、電力の安定供給などによる顧客からの信頼がより重要になっている。それには、既存の送電設備を有効に利用するため、送電可能容量(ATC)を随時高精度に把握することが重要になってくる。

ATC(Available Transfer Capability)とは、系統運用上の制約の許容範囲内で既存の送電上に乗せ可能な2地点間の送電可能容量であり、 $ATC = TTC - TRM - \text{既存送電分}$  (CBMを含む)と定義されている。ただし、本研究ではTRMとCBMを考慮せず、ATCは「TTC-既存送電分」と定義する。

さて、電力系統では保護リレーなどの系統保護設備が設置され、系統を保護している。主に後備保護として用いられるモーリレーは広い範囲を保護する設計のため、電力潮流配分や故障や保護領域以外の開閉操作により起こる現象に対して敏感である。そのため重負荷の電力系統においては、見かけインピーダンスの保護領域での低下に伴うリレーの不要動作が起こりうる。

しかし、従来のATCの計算ではこのような故障除去後の事故波及の可能性は考慮されていない。そこで、本研究ではATC算出に対しモーリレー動作特性を考慮し、二次的事故が発生しない範囲でATCを算出する方法を提案する。

## 2. 電圧安定性 ATC の定式化

一般に電圧安定限界を計算する場合には、発電機のAVR制御およびOEL等による無効電力上限制約を考慮する必要がある。これらの制約は潮流解析においては、発電機端子条件としてQ上限を伴うV指定制約、すなわちPV指定とPQ指定の切替条件として取り扱われる。このVとQの切替条件を本稿では数式的に以下のように表現する。

$$(Q_{Ri} - \bar{Q}_{Ri})(v_i - \bar{v}_i) = 0 \quad (1)$$

$$\bar{Q}_{Ri} - Q_{Ri} \geq 0 \quad (2)$$

$$\bar{v}_i - v_i \geq 0 \quad (3)$$

電圧安定性 ATC の定義より、下の式のように定式化すると最適化問題が得られ、求められた最大の値  $\lambda$  が電圧・熱容量 ATC となる。

$$\begin{aligned} &\text{maximize} : \lambda \\ &\text{subject to} : f(x, \lambda) = y_0 + \lambda y_d - g(x) = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

$$g(x) = (Q_R - \bar{Q}_R)(v - \bar{v}) = 0 \quad (5)$$

$$v_i^2 \leq (e_i^2 + f_i^2) \leq \bar{v}_i^2 \quad i = 0, \dots, n \quad (6)$$

$$\underline{P}_{Gi} \leq P_{Gi} \leq \bar{P}_{Gi} \quad i \in S_G \quad (7)$$

$$\underline{Q}_{Ri} \leq Q_{Ri} \leq \bar{Q}_{Ri} \quad i \in S_R \quad (8)$$

ここで、 $\lambda$  : 需要の増加を表すスカラーベクトル、 $x \in R^{2n+S_G+S_R}$  : 全ての状態変数、 $y_0 \in R^{2n}$  : 運用点の電力注入ベクトル、 $y_d \in R^{2n}$  :  $\lambda$  が変化する際の各母線の電力注入変化を指定する定ベクトル、 $\underline{v}, \bar{v}$  : 電圧制約の上下限、 $\underline{P}_{Gi}, \bar{P}_{Gi}$  : 有効電力制約の上下限、 $\underline{Q}_{Ri}, \bar{Q}_{Ri}$  : 無効電力制約の上下限である。

## 3. モーリレー

### <3.1>保護リレー

電力系統で事故が発生した場合、これを放置すると設備の損傷を招くだけでなく、安定した電力供給の維持が困難になる。保護リレーはこの様な事態を防止するために電力系統に設置されており、その目的は以下のとおりである。

- ・迅速に事故を除去して、設備損傷の拡大を防止することで保安を確保する。
  - ・事故区間を迅速に選択し、遮断範囲を最小限に抑える。
- これにより、電力の安定供給を維持するとともに、停電回数、時間そして範囲を最小化し、信頼度を維持する。

### <3.2>モーリレー

モーリレーは、事故除去を目的とするリレーである。事故除去リレーには、主に事故が発生したときに通常最初に動作することを目的にした主保護リレーと、主保護リレーで保護できない場合や、保護し損なった場合に動作する後備保護リレーがある。モーリレーは後者で用いられる距離リレーの一種である。

動作原理は、設置箇所電圧と電流からその比であるインピーダンスを見て、それが動作限界を設定する整定インピーダンスより小さいかどうかを判定するというもので、1個のリレーで距離要素と方向要素を兼ねたリレーである。

モーリレーは広い範囲を保護する設計のため、電力潮流配分や故障、保護領域以外の開閉操作により起こる現象に敏感であるという特徴を持っている。

### <3.3>モーリレーの動作特性

縦軸にリアクタンス X、横軸に抵抗 R をとるインピーダンスダイアグラム(R-X 平面)上にモーリレーの動作特性を表すと図1のようになり、動作範囲は原点 O を通り、1/k を直径とする円の内部である。モーリレーの動作特性式は下の(9)のように表される。

$$M = kV^2 - VI \cos(\gamma_R - \phi_S) \quad (9)$$

ここで、 $\dot{V} = V \angle \theta$  : 送電端電圧、

$\dot{I} = I \angle \theta_I$  : 送電端からの電流、

$\dot{S} = V\dot{I}^* = S \angle \phi_S$  : 送電端電力、

$\dot{Z}_R = Z_R \angle \gamma_R$  : 送電端での最大トルクを与える場合のモーリレーのリレー整定

$$k = 1 / Z_R$$

$M \leq 0$ 、すなわち図1においてモーリレーの見かけインピーダンスが円の内部にある場合、動作する。

本研究ではモーリレーが動作しない範囲  $M > 0$  を制約として2章の最適化問題に加える。

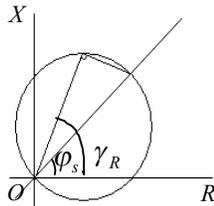


図1 モーリレーの動作特性

#### 4. シミュレーション条件

シミュレーションはIEEE30母線系統でノード2から24に託送した場合で行った。

リレー整定は最大感度角  $\gamma_R = 60^\circ$ 、 $Z_R$  は自区間送電線インピーダンスの300%に設定している。

二回線送電線のうちの一回線が地絡故障を起こし、その後開放除去した場合を、全ての線路についてそれぞれシミュレーションし、託送限界の内で最小の値をATCとする。

このとき、通常の負荷を100%とし、負荷状態を変化させてモーリレー動作条件を考慮した場合としない場合のATCの値をそれぞれ算出する。

#### 5. シミュレーション結果

式(9)のモーリレー動作特性Mの負荷状態による変化を表したものを図2に、また、制約としてモーリレー動作条件を考慮した場合と、考慮していない場合での電圧安定性ATCを比較したものを表1に示す。

Mは重負荷状態になる程0に近づいていることがわかる。また、ATCの値も130%以降で制約を考慮した場合の値が考慮しない場合と比べ若干低い値をとっている。

#### 6. まとめ

本稿では、電圧安定性ATCの算出時にモーリレー動作条件制約を導入することで、リレーの不要動作による事故の可能性を考慮したATCの計算法を提案した。これにより、モーリレー動作条件制約の有効性を示すことができた。

また、すでに電圧・熱容量制約に対応するATC算出に対しても、モーリレー動作条件制約の考慮をしており、それらの結果も合わせて考察する予定である。

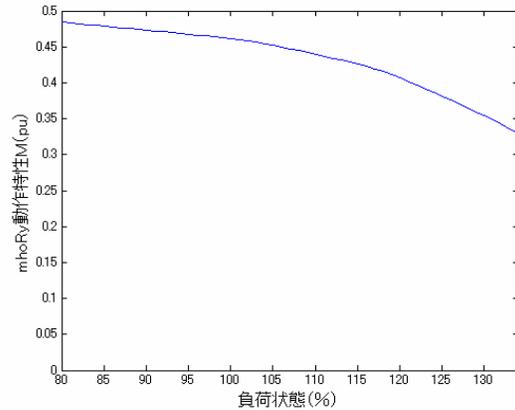


図2 負荷状態の変化に伴うモーリレー動作特性Mの変化

表1 モーリレー動作条件制約の有無による電圧安定性ATCの比較

負荷状態(%)	mhoRy 動作条件制約なし	mhoRy 動作条件制約あり
80	0.6125	0.6125
85	0.5809	0.5809
90	0.5382	0.5382
95	0.5027	0.5027
100	0.4469	0.4469
105	0.3977	0.3976
110	0.3454	0.3454
115	0.2894	0.2894
120	0.2291	0.2291
125	0.1635	0.1635
130	0.0917	0.0916
131	0.0765	0.0764
132	0.0610	0.0609
133	0.0452	0.0449
134	0.0291	0.0290

#### 参考文献

[1]North American Electric Reliability Council, "Availability Transfer Capability Definitions and Determination" pp.1-42 (June 1996)  
 [2]S. H. Li, N. Yorino, Y. Zoka, "Controllability Analysis for Operation Margin of Zone 3 Impedance Relay"  
 [3] 川本晃巨「モーリレー動作条件を考慮した電圧・熱容量ATC計算の提案」電力系統電力系統技術合同研究会, PE-07-63  
 [4]電気学会通信教育会「送電工学(改訂版)」電気学会(1971)